

Avaliação do potencial de salicáceas para produção de biomassa para energia

Débora Mateus Patinho

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais – Gestão de Recursos Naturais

Orientador: António Manuel Dorotêa Fabião

Coorientador: Jorge Manuel Barros D'Almeida Gominho

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Reis de Noronha Ribeiro de Almeida, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor António Manuel Dorotêa Fabião, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutora Ana Paula Soares Marques de Carvalho, Técnica Superior do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor António Fabião, por me ter dado a oportunidade de participar neste projecto, por toda a paciência demonstrada face às minhas indecisões e por toda a ajuda dispensada.

À Rita Moreira, pelo incansável esforço, dedicação e auxílio no projecto.

À Marta Carneiro, Patrícia Alves, Susana Barreira e a todo o pessoal do ISA por todo o auxílio prestado.

Ao Filipe agradeço o apoio incondicional, compreensão e paciência demonstrados.

À Marta, pela preciosa ajuda na formatação e verificação do trabalho.

Aos meus pais, Wirou e Sofia, pelo incentivo e apoio ao longo deste processo.

Este estudo foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal, no âmbito do projecto PTDC/AGR-CFL/114826/2009.

RESUMO

O objectivo do presente trabalho consistiu na avaliação do potencial produtivo de biomassa de três espécies de salicáceas autóctones, *Salix atrocinerea*, *Salix salvifolia* spp *australis* e *Populus alba*, e de dois clones de choupo do híbrido *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides*, Unal e Beaupré. A experiência realizou-se em duas partes: (i) instalação e acompanhamento do crescimento em altura de *S. atrocinerea* e *P. alba* em parcelas de regadio e de sequeiro, abate após um ano e determinação do peso seco das componentes de biomassa e (ii) abate de *S. atrocinerea*, *S. salvifolia* e dos clones Unal e Beaupré em parcelas irrigadas após 5 anos de crescimento e posterior determinação das produtividades biomássicas. As produções médias anuais para cada uma das espécies foram $0.30 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $0.07 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $3.49 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $2.01 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $15.12 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $18.39 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, tendo os clones de choupo apresentado os melhores resultados, evidenciando assim o seu elevado potencial produtivo. As salicáceas autóctones demonstraram poder ter baixa produtividade de biomassa em condições de seca estival, mesmo com irrigação, e pouca adaptabilidade ao local.

Palavras-chave: Biomassa; energia; *Populus alba*; *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* - Beaupré; *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* – Unal; *Salix atrocinerea*

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the biomass production potential of 3 indigenous salicaceae, *Salix atrocinerea*, *Salix salvifolia* spp *australis* and *Populus alba*, and of two clones of hybrid poplar *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides*, Unal and Beaupré. The experiment was divided in two parts: (i) plantation and monitoring of height growth of *S. atrocinerea* and *P. alba* in two treatment plots, one irrigated and other rain-fed, harvest after 1 year and determination of biomass yields and (ii) harvest of *S. atrocinerea*, *S. salvifolia* and poplar clones, Unal and Beaupré, in irrigated plots after 5 years of growth and determination of biomass yields. The mean annual productions of dry matter for each specie were 0.30 t ha⁻¹ yr⁻¹, 0.07 t ha⁻¹ yr⁻¹, 3.49 t ha⁻¹ yr⁻¹, 2.01 t ha⁻¹ yr⁻¹, 15.12 t ha⁻¹ yr⁻¹ and 18.39 t ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. Poplar clones showed the best results, revealing a high biomass yield potential. Indigenous salicaceae's poor production suggested that they might have low biomass yields under summer drought conditions, even if irrigated, and were not well adapted to the experiment site.

Keywords: Biomass; energy; *Populus alba*; *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* - Beaupré; *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* – Unal; *Salix atrocinerea*

EXTENDED ABSTRACT

The growing concerns with global warming, quality and protection of the environment combined with the increasing energy consumption worldwide and dependence of fossil fuels, instigated the European Union to revise its energy policies, creating means to promote the use of renewable energy sources, such as biomass, increasing, simultaneously, the security and sustainability of energy production in the European Community.

Biomass, one of the most promising renewable energy sources, can be used to produce energy in the form of electricity or biofuel, for instance, without increasing the greenhouse gas emissions due to plants CO₂ fixation during their growth. Short-rotation tree coppices for energy have become increasingly common in the last decade in some EU countries, especially with willows and poplars, which are known for their rapid growth and vegetative propagation. On SRC fast growing trees, with vigorous re-growth of shoots after coppice are managed under short rotation cycles, which allows it to obtain high yields of biomass with good quality of solid fuel with positive impacts on biodiversity, carbon and nutrients cycle and protection of the soil against water and wind erosion.

In this study the biomass production potential of three indigenous salicaceae, *Salix atrocinerea*, *Salix salvifolia* spp *australis*, and *Populus alba*, and two clones of the hybrid poplar *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides*, Unal and Beaupré, was assessed for production of energy.

The experiment took place in Tapada da Ajuda, in Lisbon, within a biomass-for-energy facility (BioenergISA) and started in January 2012 with the installation of each specie, *S. atrocinerea* and *P. alba*, in two treatment plots, irrigated and rain-fed, with 120 plants each. The other species referred were already installed since May/October 2008 on irrigated plots of 42 plants each. The growth and survival of the former two were monitored and after approximately 1 year, ca. 1/3 of the surviving plants of each irrigated plot were harvested (all or almost all the trees from the rain-fed plot died during the summer). All the 5 year old trees were harvested and a sample of 19, 22, 20 and 15 plants of, respectively, clone Unal, clone Beaupré, *S. atrocinerea*, and *S. salvifolia*, were collected and taken to the laboratory, along with the samples of indigenous salicaceae, where total above ground dry biomass per tree was compiled from dry weight of components and expressed on an area basis, taking into account survival and consequent density after the growth period.

The crops with the highest results were the poplar clones, Unal and Beaupré, with annual productions of 15.12 t ha⁻¹ yr⁻¹ and 18.39 t ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. The one year old salicaceae, grey willow and white poplar, produced 0.30 t ha⁻¹ yr⁻¹ and 0.07 t ha⁻¹ yr⁻¹, respectively and had a respective rate survival of 92,5% and 74,2%. The remaining five year old willows, *S. atrocinerea* and *S. salvifolia*, produced 3.49 t ha⁻¹ yr⁻¹ and 2.01 t ha⁻¹ yr⁻¹, respectively.

The yields obtained for clones Unal and Beaupré revealed their high production potential, making them very interesting for the bioenergy market and industry, as expected, since these clones were genetically selected for their production yields. All the others species showed low biomass yields, not presenting themselves viable for the production of energy under the conditions of the experiment. Although not expected to be so low, these poor values might have been consequence of inadequate site conditions, especially related with the summer drought characteristic of the Mediterranean regions, despite irrigation, and sub optimal cultural practices, such as fertilization and weed control.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	III
EXTENDED ABSTRACT.....	IV
LISTA DE QUADROS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Biomassa.....	2
1.3. Culturas energéticas.....	3
1.4. Espécies utilizadas.....	4
1.4.1. <i>Salix</i> spp.....	4
1.4.2. <i>Populus</i> spp.....	6
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
2.1. Caracterização do local.....	7
2.1.1. Caracterização climática.....	7
2.1.2. Caracterização edáfica.....	9
2.2. Instalação da experiência.....	9
2.3. Procedimentos.....	10
2.4. Análise de dados.....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
3.1. Resultados das plantas.....	12
3.2. Sobrevivência e crescimento.....	12
3.3. Produção de biomassa.....	14
3.3.1. Salicáceas com 5 anos.....	14
3.3.1.1. <i>Populus trichocarpa</i> x <i>Populus deltoides</i> – Unal e Beaupré... 14	
3.3.1.2. <i>Salix atrocinerea</i> e <i>Salix salvifolia</i> spp <i>australis</i>	17
3.3.2. Salicáceas com 1 ano.....	20
4. CONCLUSÕES.....	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estimativa dos actuais consumos de biomassa (Fonte: DNFF, 2010).

Quadro 2. Temperatura e precipitação médias mensais de 2012 na Tapada da Ajuda – Lisboa (Fonte: adaptado de Moreira *et al*, 2013).

Quadro 3. Principais propriedades do solo do local da experiência (Fonte: adaptado de Medina, 1973).

Quadro 4. Principais características das plantas utilizadas na experiência.

Quadro 5. Biomassa por componentes de cada espécie.

Quadro 6. Biomassa por componentes de cada espécie de salicáceas com 1 ano.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Parcela de *Salix atrocinerea* no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 2. Pormenor de um ramo de *Salix atrocinerea* (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 3. Parcela de *Salix salvifolia* no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 4. Pormenor de um ramo de *Salix salvifolia* (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 5. Parcela do clone Unal no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 6. Parcela do clone Beaupré no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 7. Entrada do campo BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).

Figura 8. Vista aérea do BioenergISA e da estação meteorológica (Fonte: Google Maps, <https://www.google.pt/maps>, acedido em 13 de Março de 2014).

Figura 9. Representação gráfica da temperatura média mensal (°C) e precipitação média mensal (mm) em 2012 e da temperatura média anual (°C) - normal climática.

Figura 10. Esquema representativo do BioenergISA e posição das parcelas das espécies em estudo.

Figura 11. Sobrevivência das plantas (em % do número inicial de 120 exemplares de cada espécie em cada parcela) ao longo do período de tempo da experiência (ca. 11 meses).

Figura 12. Altura média (em cm) da parcela irrigada de *P. alba* ao longo do período de medições (as barras verticais representam o erro padrão).

Figura 13. Altura média (em cm) da parcela irrigada de *S. atrocinerea* ao longo do período de medições (as barras verticais representam o erro padrão).

Figura 14. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa de cada componente do clone Unal: Biomassa aérea = $0,115 \cdot \text{DAP}^{2,240}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa tronco = $0,085 \cdot \text{DAP}^{2,276}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa lenho = $0,062 \cdot \text{DAP}^{2,354}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa casca = $0,027 \cdot \text{DAP}^{1,919}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa ramos = $0,030 \cdot \text{DAP}^{2,108}$ ($R^2_{aj} = 0,95$).

Figura 15. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa de cada componente do clone Beaupré: Biomassa aérea = $0,164 \cdot \text{DAP}^{2,147}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa tronco = $0,101 \cdot \text{DAP}^{2,263}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa lenho = $0,076 \cdot \text{DAP}^{2,331}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa casca = $0,028 \cdot \text{DAP}^{1,921}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); $\text{Ln (Biomassa ramos)} = -1,873 + (\text{DAP} \cdot 0,382)$ ($R^2_{aj} = 0,95$).

Figura 16. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do clone Unal.

Figura 17. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do clone Beaupré.

Figura 18. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa de cada componente do *Salix atrocinerea*: Biomassa aérea = $3,103 \cdot \ln(\text{Diâmetro na base da copa}) - 2,578$ ($R^2_{aj} = 0,42$); Biomassa tronco e ramos = $2,411 \cdot \ln(\text{Diâmetro na base da copa}) - 2,073$ ($R^2_{aj} = 0,42$); Biomassa folhas e lançamentos = $0,693 \cdot \ln(\text{Diâmetro na base da copa}) - 0,505$ ($R^2_{aj} = 0,25$).

Figura 19. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa das folhas e lançamentos do *Salix salvifolia*: Biomassa folhas e lançamentos = $0,164 \cdot \text{DAP} - 0,085$ ($R^2_{aj} = 0,86$).

Figura 20. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa aérea e do tronco e ramos do *Salix salvifolia*: Biomassa aérea = $0,187 \cdot \text{DAP}^2 + 0,250$ ($R^2_{aj} = 0,93$); Biomassa do tronco e ramos = $0,154 \cdot \text{DAP}^2 + 0,163$ ($R^2_{aj} = 0,93$).

Figura 21. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *S. atrocinerea*.

Figura 22. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *S. salvifolia*.

Figura 23. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *P. alba*.

Figura 24. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *S. atrocinerea* (com 1 ano).

LISTA DE ABREVIATURAS

BioenergISA – Campo Pedagógico de Plantas Bioenergéticas do Instituto Superior de Agronomia.

CE – Comissão Europeia.

DAP – Diâmetro à altura do peito

GEE – Gases com efeito de estufa.

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

ISA – Instituto Superior de Agronomia.

UE – União Europeia.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A União Europeia (UE) tem vindo a enfrentar diversos problemas relacionados com a energia, devido, principalmente, à instabilidade nos países exportadores de petróleo, que aumenta a volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis e afecta a continuidade do fornecimento dos mesmos. O aumento do consumo de energia a nível mundial e a crescente preocupação com o aquecimento global e preservação da qualidade do ambiente levou a UE a rever as suas políticas energéticas com o objectivo de desenvolver estratégias para diminuir a dependência do petróleo e dos outros combustíveis fósseis, combater as alterações climáticas, aumentar a segurança e sustentabilidade da produção de energia na UE e fortalecer a sua competitividade, estimulando o aumento da eficiência energética e do uso de fontes de energia renováveis por parte dos seus Estados-Membro (DCCE, s/data).

O Pacote Energia-Clima engloba um conjunto de medidas que visam o cumprimento dos objectivos climáticos e energéticos estabelecidos pela UE, conhecidos por “objectivos 20-20-20”, a atingir até 2020: (i) reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 20% face aos níveis de 1990, (ii) aumentar a quota de energias renováveis em 20% do consumo total de energia da UE e (iii) reduzir o consumo anual de energia primária em 20% em relação aos níveis projectados para 2020, aumentando a eficiência energética (CE, 2014).

Segundo o Anuário Estatístico de Portugal, em 2009, a dependência energética externa do nosso país situava-se nos 81,2%, valor este muito elevado em relação aos 54,0% da UE no mesmo ano. Esta elevada dependência pode ser explicada pela falta de recursos fósseis em Portugal, facto este que torna premente a exploração de fontes alternativas de energia, nomeadamente fontes de energia renováveis, que têm um elevado potencial no nosso país devido aos recursos florestais disponíveis e localização geográfica que possibilita a exploração da energia solar, hídrica e eólica (Santos, 2009).

Em Portugal, no ano de 2009, a contribuição das energias renováveis no consumo primário de energia foi de 20%, sendo que destes, 47% proveio da biomassa. (AEP, 2009). Segundo o relatório internacional da WWF – A energia da floresta ibérica (2011), a biomassa, a nível mundial, contribui com cerca de 14% da procura anual de energia e com mais de três quartos de toda a energia renovável.

Reconhecendo a biomassa como uma alternativa importante aos combustíveis fósseis, a Comissão Europeia (CE) desenvolveu o Plano de Acção Biomassa que consiste num conjunto de acções, a desenvolver ao nível da comunidade, com o objectivo de aumentar a procura da biomassa, melhorar o seu fornecimento, ultrapassar barreiras técnicas e desenvolver estudos e pesquisas. Foi elaborado no sentido de promover o desenvolvimento

da produção de energia a partir da biomassa, reconhecendo o seu potencial para diversificar o fornecimento de energia na Europa, diminuindo significativamente as emissões de GEE e criando novos postos de trabalho (CE, 2005).

1.2. Biomassa

A biomassa, tal como é definida na Directiva 2003/30/CE, consiste na fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Uma das razões que torna a biomassa uma das principais e mais atractivas alternativas aos combustíveis fósseis é a variedade de produtos que podem ser utilizados para produzir energia (térmica ou eléctrica, por exemplo). As outras grandes vantagens da utilização da biomassa para produção de energia estão relacionadas com a sua abundância, benefícios ambientais, tais como a redução das emissões de GEE, diminuição da dependência energética externa e consequente aumento da segurança de abastecimento energético, e promoção de uma gestão florestal mais sustentável, que conduz a uma redução do risco de incêndios e aumento da produtividade florestal, e benefícios sociais - criação de empregos e desenvolvimento de novas fontes de rendimento (WWF, 2011; WWF MedPo&WWF España, 2011; Boehmel *et al.*, 2008; Vanhala *et al.*, 2013)

A utilização da biomassa apresenta também alguns desafios, nomeadamente a concorrência entre usos de solo, como por exemplo, a produção de biomassa vs produção de alimentos, protecção da natureza ou conservação da paisagem (Boehmel, 2008), o que pode levar ao aumento do preço dos alimentos; potenciais impactos sobre a biodiversidade (através da remoção excessiva de biomassa que noutros casos ficaria no solo a decompor-se) e sobre a qualidade do solo (compactação e erosão resultantes da utilização de máquinas de exploração, por exemplo); possibilidade de emissões de substâncias nocivas para o ambiente aquando da sua produção, transporte e combustão; e degradação e conversão das florestas naturais em plantações de crescimento rápido (WWF, 2011; WWF MedPo&WWF España, 2011; Santos, 2009; Boehmel, 2008; Vanhala *et al.*, 2013). Todas estas questões podem ser ultrapassadas através de medidas de salvaguarda adoptadas nas políticas governamentais para a produção de bioenergia (WWF MedPo&WWF España, 2011). Se estas políticas privilegiarem uma efectiva diminuição das emissões de GEE e a protecção da biodiversidade, vão estimular uma melhor gestão florestal e valorização dos recursos naturais, eliminando assim estas possíveis desvantagens.

Em Portugal, o Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis, desenvolvido ao

abrigo de Directiva 2009/28/CE, apresenta um conjunto de medidas a aplicar em cada sector das energias renováveis, incluindo a biomassa, de forma a estimular o recurso às mesmas e ultrapassar as barreiras da sua utilização. Tendo a biomassa um papel tão promissor no futuro da energia, é expectável que a pressão sobre este recurso aumente (Quadro 1.) e, como tal, é importante que se consiga aumentar a disponibilidade do mesmo para satisfazer a procura sem entrar em competição com as indústrias já existentes e que dependem dos recursos florestais, como é o caso das serrações, aglomerados, pasta para papel, etc. (DNFF, 2010).

Quadro 1. Estimativa dos actuais consumos de biomassa (Fonte: DNFF, 2010).

Consumidores	Consumo (t.ano ⁻¹ H=35%)	Consumo de biomassa residual (t.ano ⁻¹ H=35%)					Potência instalada	
	Biomassa	2006	2010	2012	2015	2020	MVA	MW
CTB operativas	1.268.832	175.748	1.147.336	1.268.832	1.268.832	1.268.832	105	98,1
CTB concurso biomassa	1.166.355		60.748	1.166.355	1.166.355	1.166.355	96	89,7
CTB sob licenciamento	1.020.779				619.845	619.845	84	78,5
Cogeração (fracção biomassa)	715.910	715.910	715.910	715.910	715.910	715.910	51	47,3
Pellets	169.500		126.000	169.500	169.500	169.500		
Cimenteiras	35.000	30.000	35.000	35.000	35.000	35.000		
Exportação	50.000		50.000	30.000	50.000	50.000	-	-
Outros (cerâmicas,...)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	-	-
Novos projectos	-		-	-	-	-	-	-
Total	4.476.376	971.658	2.184.994	3.435.597	4.075.442	4.075.442	-	-

A produção de biomassa pode ser aumentada mobilizando biomassa de fontes pouco exploradas, como os cepos e materiais lenhosos resultantes das limpezas, ou produzindo nova matéria-prima, nomeadamente através de culturas energéticas. Nestas culturas são utilizadas espécies de rápido crescimento, com capacidade de rebentação após o corte, geridas em regimes de talhadia de curta rotação, que permite a obtenção de uma elevada produção de biomassa com boa qualidade do combustível sólido, vantagens ecológicas, tais como impacto positivo na biodiversidade, captura de nutrientes e no ciclo do carbono e protecção do solo contra erosão hídrica e eólica (Afas, 2008; Laureysens *et al.*, 2003), e custos de produção comparativamente baixos (Kauter *et al.*, 2003).

1.3. Culturas energéticas

Num regime de talhadia de curta rotação, árvores de crescimento rápido são plantadas em densidades elevadas com rotações inferiores a 15 anos (Afas, 2008). Os cortes são efectuados na base do tronco, resultando no rebentamento de toíça e/ou de raiz, rebentos esses que têm uma taxa de crescimento inicial superior aos das estacas ou plântulas originárias de sementes, pois beneficiam do já existente regime radicular e do rápido desenvolvimento de um índice de área foliar elevado (Laureysens *et al.*, 2003).

O sucesso dos regimes de talhadia de curta rotação está dependente da escolha das espécies (e/ou clones) a utilizar, qualidade do solo, controlo da vegetação natural que poderá competir com as culturas, densidade e duração da rotação, fertilização e colheita, ou seja, no geral a gestão das operações a realizar (Kauter *et al.*, 2003).

Choupos e salgueiros são as espécies mais utilizadas devido ao seu rápido crescimento, especialmente na fase juvenil, pela facilidade de reprodução vegetativa, pela possibilidade de adopção de tecnologias de cultivo super intensivas e pela grande variedade de usos dos produtos de biomassa (Filat *et al.*, 2010).

O objectivo do presente trabalho é avaliar o potencial de algumas espécies de salicáceas autóctones, *Salix atrocinerea*, *Salix salvifolia* spp *australis*, *Populus alba* e de dois clones de choupo híbrido *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides*, Beaupré e Unal, para a produção de biomassa para produção de energia em regimes de talhadia de curta rotação, com cortes ao fim de 1 ano, no caso do *S. atrocinerea* e do *P. alba*, e de 5 anos para os clones de choupo e as duas espécies de salgueiro. As hipóteses colocadas, tendo como base comparativa as referências bibliográficas, são: (i) os clones de choupo, seleccionados pela sua elevada produtividade, vão obter bons resultados de produção de biomassa; (ii) as espécies autóctones, sem melhoria genética, com irrigação, vão obter resultados satisfatórios de produção de biomassa.

1.4. Espécies utilizadas

As espécies utilizadas neste trabalho são da família das salicáceas e são conhecidas pelo seu rápido crescimento. Tanto os salgueiros como os choupos têm sido alvo de muitos estudos, principalmente no Centro e Norte da Europa, no sentido de avaliar a sua potencialidade para produção de biomassa para energia e explorar os clones que melhor se adaptam às condições locais (Walle *et al.*, 2007; Boehmel *et al.*, 2008; Stolarski *et al.*, 2008; Broeckx *et al.*, 2012).

1.4.1. *Salix* spp.

As espécies de salgueiro estudadas neste trabalho são *Salix atrocinerea*, ou borrazeira-preta, e *Salix salvifolia* spp. *Australis*, ou borrazeira-branca. O *Salix atrocinerea* Brot. é uma árvore de folha caduca que apresenta, normalmente, um porte arbustivo de copa pouco densa, podendo, no entanto, atingir os 15 metros de altura. Tem uma longevidade de cerca de 70 anos e ocorre dos 0 aos 2000 metros de altitude (Vilas Boas, s/data). Encontra-se distribuída na Europa atlântica e no Oeste da região mediterrânica, sendo que, em Portugal, se distribui por todo o território, exceptuando algumas zonas mais continentais do Centro e

Sul do país. É uma espécie de luz, intolerante ao ensombramento (Fabião, 1996), com preferência por solos não muito alcalinos, que necessita de humidade edáfica permanente (Vilas Boas, s/data), daí se encontrar, preferencialmente, ao longo das margens de cursos de água, lagos ou charcos, sendo considerada uma espécie ripícola. A sua madeira, leve e clara, é utilizável no fabrico de pequenas peças, caixotaria e para celulose (Fabião, 1996). Por ter uma madeira muito nodosa não é utilizada para a cestaria, mas por ter um extenso sistema radicular funciona como uma boa estabilizadora de solos (nomeadamente margens dos cursos de água).

A borrazeira-branca, tal como é geralmente denominada, é um arbusto que pode atingir os 6 metros de altura (Almargem, 2013). É originária da Península Ibérica e em Portugal encontra-se principalmente distribuída pelo Sul do país, ao longo das margens de cursos de água com regime torrencial. Esta subespécie encontra-se protegida ao abrigo dos Anexos B-II e B-IV da Directiva Habitats (ICNF, s/ data), sendo assim evidenciada a sua importância ecológica (Fabião e Fabião, 2007).



Figura 1. Parcela de *Salix atrocinerea* no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).



Figura 2. Pormenor de um ramo de *Salix atrocinerea* (Fotografia: Débora Patinho).



Figura 3. Parcela de *Salix salvifolia* no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).



Figura 4. Pormenor de um ramo de *Salix salvifolia* (Fotografia: Débora Patinho).

1.4.2. *Populus* spp.

As espécies de choupo avaliadas neste trabalho são o choupo-branco (*Populus alba* L.) e dois clones do híbrido *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides*, Unal e Beaupré.

O choupo-branco é uma árvore caducifólia de crescimento rápido que pode atingir os 30 metros de altura (Biorede, s/ data). A sua copa é ampla e irregular, com folhas arredondadas que apresentam uma espessa penugem branca na página inferior. O seu tronco é direito e robusto, com casca branca/ acinzentada que vai ganhando fissuras com a idade. A madeira de choupo-branco é clara, macia e de pouca durabilidade. É normalmente utilizada no fabrico de palitos e fósforos, na construção, caixotaria, marcenaria, contraplacados e na indústria da celulose (Fabião, 1996). É uma árvore com grande interesse ornamental, especialmente nas cidades, e com algumas propriedades medicinais.

É uma espécie ripícola, com preferência por solos frescos e húmidos, mas não encharcados (Fabião, 1996), que suporta bem o frio, mas não tolera bem o ensombramento. Encontra-se em toda a Península Ibérica, Centro e Sul da Europa, Ásia ocidental e Região Mediterrânica (Flora Digital de Portugal, 2014). Em Portugal está presente em todo o território.

Os dois clones de choupo aqui mencionados foram resultado de melhoramento genético tendo em vista a produção de biomassa.



Figura 5. Parcela do clone Unal no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).



Figura 6. Parcela do clone Beaupré no BioenergISA (Fotografia: Débora Patinho).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização do local

A experiência foi instalada no Campo Pedagógico de Plantas Bioenergéticas do Instituto Superior de Agronomia – BioenergISA (Figura 7.) –, em Lisboa (38° 42' lat. N, 9° 11' long. O, 60m alt.). Este campo foi criado com o objectivo de observar e estudar espécies produtoras de biomassa para posterior conversão em energia (Santos, 2009). A área onde se encontra tem um declive suave (inferior a 5%) de Oeste-Este e anteriormente era ocupada por culturas agrícolas (Carneiro *et al.*, 2013).

O BioenergISA situa-se a menos de 100 metros da Estação Meteorológica da Tapada da Ajuda, de onde foram recolhidos os dados para a caracterização climática do local dos ensaios (Figura 8.).



Figura 7. Entrada do campo BioenergISA
(Fotografia: Débora Patinho).



Figura 8. Vista aérea do BioenergISA e da estação meteorológica.

(Fonte: Google Maps, <https://www.google.pt/maps>,
acedido em 13 de Março de 2014)

2.1.1 Caracterização climática

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), o clima da Tapada da Ajuda é, de acordo com a classificação de Köppen, temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente (Csa).

As normais climáticas podem ser descritas através das médias de 30 anos (1971-2000) obtidas pela Estação Meteorológica da Tapada da Ajuda, tal como foi referido anteriormente. No local, a temperatura média anual é de 16,4°C, variando, em média, entre um mínimo de

11°C em Janeiro e um máximo de 22,3°C em Agosto (Carneiro *et al.*, 2013). A ocorrência de temperaturas mínimas abaixo dos 0°C é meramente ocasional entre os meses de Dezembro e Janeiro, bem como temperaturas de cerca de 41°C entre Junho e Julho (Carneiro *et al.*, 2013).

A precipitação média anual é de 680 mm, sendo que apenas 8% deste valor se verifica nos 4 meses secos (Junho a Setembro) com a precipitação média mensal (mm) a ser inferior a duas vezes a temperatura média mensal (°C) (Carneiro *et al.*, 2013).

Os dados climáticos obtidos ao longo da experiência estão presentes no Quadro 2. Comparando com as normais climáticas, a precipitação total anual e a temperatura média mensal foram próximas do normal, mas, segundo Carneiro *et al.*, a precipitação entre Fevereiro e Agosto foi de apenas 52% do total normal para este período e foi menor que a evapotranspiração potencial entre Fevereiro e Setembro, originando um Inverno - tardio -, Primavera e Verão secos.

Quadro 2. Temperatura e precipitação médias mensais de 2012 na Tapada da Ajuda – Lisboa

Mês	Medido em 2012	
	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
Janeiro	105,6	11,1
Fevereiro	0,0	10,3
Março	35,4	15,1
Abril	36,2	13,2
Maio	65,8	18,4
Junho	2,6	20,2
Julho	0,1	21,8
Agosto	6,7	22,4
Setembro	46,2	22,3
Outubro	99,4	17,8
Novembro	198,7	13,5
Dezembro	142,3	12,7
Total anual / média	739,0	16,6

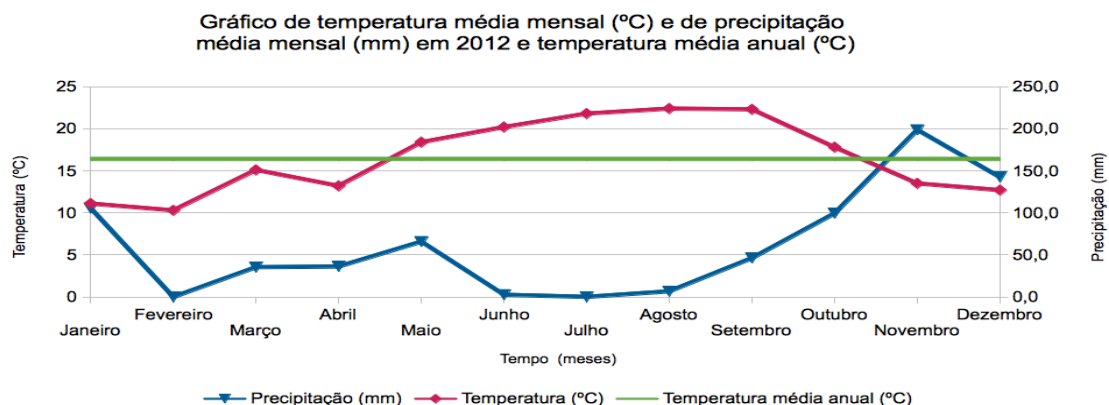


Figura 9. Representação gráfica da temperatura média mensal (°C) e precipitação média mensal (mm) em 2012 e da temperatura média anual (°C) - normal climática.

2.1.2. Caracterização edáfica

O solo onde se realizou a experiência é um Vertissolo (WRB, 2006), com origem em formações basálticas, pertencendo ao Complexo Vulcânico de Lisboa, com ocorrência de elementos grosseiros de basalto e calcário (Moreira *et al.*, 2013; Carneiro *et al.*, 2013). O solo tem um elevado conteúdo de argila, variando, ao longo da profundidade, entre os 514 e 554 g Kg⁻¹, o carbono orgânico varia entre os 11,2 e os 16,6 Kg⁻¹ e tem um pH (em água) acima da neutralidade – 7,9-8,3 – até aos 40 cm de profundidade (Quadro 3.).

Quadro 3. Principais propriedades do solo do local da experiência (Fonte: adaptado de Medina, 1973).

Profundidade do solo (cm)	Fracção mineral (g Kg ⁻¹)			pH (H ₂ O)	Bases permutáveis (cmol _c Kg ⁻¹)				C orgânico (g Kg ⁻¹)
	Areia	Limo	Argila		Ca	Mg	K	Na	
0-15	317	169	514	7,9	46,18	6,66	0,3	0,89	16,6
15-30	295	171	534	8,2	48,67	6,58	0,2	0,87	16,5
30-40	265	183	554	8,3	40,9	5,4	0,17	0,81	11,2

2.2. Instalação da experiência

No decorrer deste trabalho foi acompanhado o crescimento de duas espécies de salicáceas autóctones, *Populus alba* e *Salix atrocinerea*, durante 1 ano, e foram estudadas quatro espécies de salicáceas já instaladas no BioenergISA há 5 anos, duas autóctones, *Salix atrocinerea* e *Salix salvifolia*, e dois clones de choupo do híbrido *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* seleccionados para produção de biomassa, Unal e Beaupré.

Material caulinar silvestre de *P. alba* e *S. atrocinerea* foi recolhido ao longo da Bacia do rio Tejo durante o Inverno de 2010/2011 e deixado enraizar no Viveiro Florestal do Instituto Superior de Agronomia (ISA) num substrato de turfa e vermiculite na proporção 1:1, num volume total de 300 cm³. Nos dias 25 e 26 de Janeiro de 2012, respectivamente, as plantas foram instaladas no campo numa densidade de 40 x 10³ árvores ha⁻¹, com um compasso de 0,5 x 0,5 m², em duas parcelas de tratamento com 30 m² (6 x 5 m²), por cada espécie: uma parcela de regadio, com irrigação gota-a-gota durante o Verão (14 Junho a 29 de Outubro de 2012), perfazendo um total de 1200 L m⁻², e outra de sequeiro, totalmente dependente da água da chuva. A irrigação, próxima do óptimo, foi regularmente estabelecida de acordo com os valores diários de evapotranspiração publicados online pelo IPMA. Para evitar os efeitos da gravidade na percolação da água no solo, as parcelas de sequeiro e de regadio estavam separadas, estando a primeira instalada numa elevação maior que a última, tirando, assim, proveito do declive suave de cerca de 5% de Oeste-Este da área.

Antes da plantação, uma amostra de 16 plantas de cada espécie foi caracterizada, sendo

medida a altura acima do solo, peso seco das componentes acima e abaixo do solo, razão entre a biomassa acima e abaixo do solo, número das raízes principais (>10 se era mais de 10) e distribuição das raízes por quadrantes na base de corte (1, 1-2, 1-3, 1-2-3 ou 1-2-3-4 para raízes num quadrante único, em dois quadrantes contíguos, em dois quadrantes opostos, em três quadrantes ou a toda a volta da base de corte, respectivamente).

Após a plantação, foram aplicados 50g de fertilizante, contendo 7% N, 6% P e 12%K, a cada planta e, para garantir o estabelecimento das mesmas, foi efectuada irrigação, em ambos os tratamentos, durante as primeiras seis semanas, devido às condições de seca do Inverno tardio já mencionadas.

Em relação aos exemplares mais antigos, foram instalados no BioenergISA entre Maio e Outubro de 2008, em parcelas de 6 x 7 m², num compasso de 1 x 1 m², havendo originalmente 42 plantas por parcela, numa densidade de 10 x 10³ ha⁻¹. Na altura em que foi iniciada a experiência, todos os exemplares de choupo Unal e Beaupré tinham sobrevivido, mas de *S. atrocinerea* e *S. salvifolia* apenas existiam 29 e 33 árvores, respectivamente.

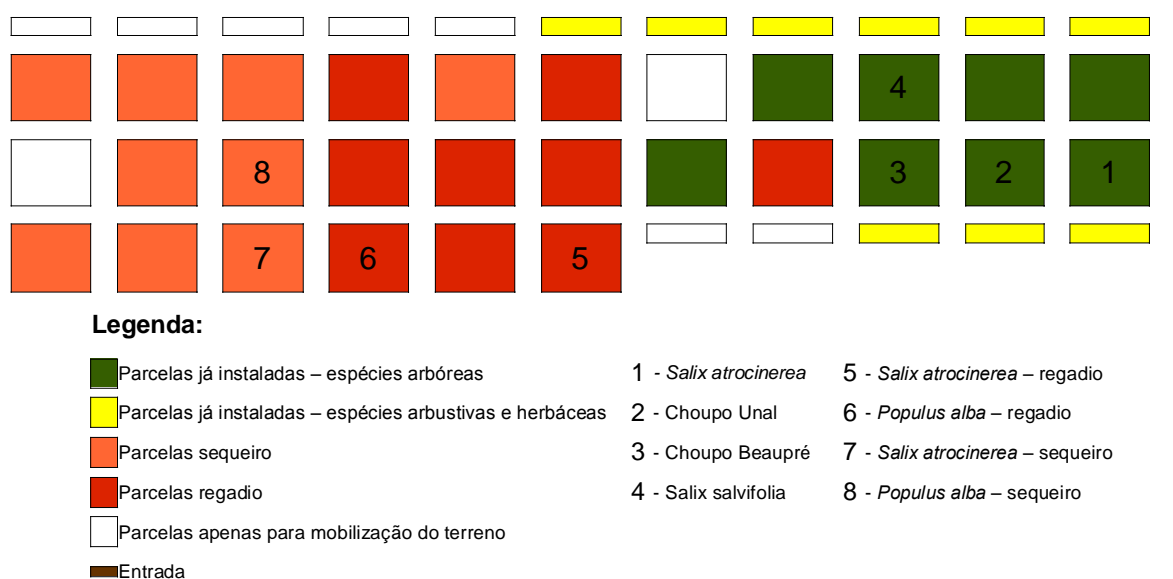


Figura 10. Esquema representativo do BioenergISA e posição das parcelas das espécies em estudo.

2.3. Procedimentos

No caso do choupo-branco e da borrazeira-preta, a sobrevivência (% do número inicial de plantas) foi monitorizada e o crescimento em altura medido com uma fita métrica de 2 metros, graduada em milímetros, 6-7, 40-41, 68-69, 127-128, 159-160, 256-257 e 347-348 dias após a plantação, respectivamente para cada espécie.

Após aproximadamente 1 ano (no dia 28 de Janeiro de 2013), 368 dias para o choupo e 369

dias para o salgueiro, cerca de 1/3 das plantas sobreviventes da parcela de regadio (28 plantas de *P. alba* e 36 de *S. atrocinerea*) foi cortada pelo eixo a 7 cm de altura do solo. Antes do abate, mediu-se a altura total das plantas, a altura da primeira ramificação / primeiro par de folhas e o comprimento do eixo. Todos os exemplares das parcelas de sequeiro, de ambas as espécies, morreram durante o Verão e Outono de 2012, de modo que os dados recolhidos não foram utilizados neste trabalho e as parcelas foram aradas e totalmente replantadas durante o Inverno do mesmo ano.

No caso das restantes espécies já instaladas anteriormente, todas as árvores foram abatidas: 42 de choupo Unal e Beaupré (nos dias 21 e 22 de Março de 2013, respectivamente), 29 de *S. atrocinerea* (entre os dias 22 de Março e 25 de Julho de 2013) e 33 de *S. salvifolia* (no dia 29 de Maio de 2013), mas apenas uma amostra de 19, 22, 20 e 15 árvores, respectivamente, foram analisadas em laboratório. Após o abate, foi medido o DAP, o diâmetro na base da copa e a altura total a todos os exemplares.

As amostras recolhidas, tanto dos indivíduos com 1 ano como dos exemplares mais antigos, foram separadas por componentes de biomassa e levadas para laboratório, devidamente identificadas, onde foram pesadas numa balança de precisão de 0,001 g, secas numa estufa a 80-85°C até peso constante e pesadas novamente. A biomassa total acima do solo foi compilada, por árvore, com base no peso seco de cada componente e expressa em função da área, tendo em conta a sobrevivência e consequente densidade após 1 ano, ou 5 anos, no caso das espécies já instaladas.

2.4. Análise de dados

A análise e exploração dos dados e a construção de gráficos foram feitas recorrendo ao Software Microsoft® Office Excel® 2007 (®Microsoft Corporation, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados das plantas

As principais características da amostra de plantas analisadas antes da instalação no BioenergISA estão compiladas no Quadro 4. A borrazeira-preta apresenta uma maior altura média, maior quantidade de biomassa total, maior abundância de raízes e uma distribuição de raízes mais alargada que o choupo-branco: todas as plantas analisadas tinham mais de 10 raízes distribuídas pelos quatro quadrantes da base de corte. Esta situação deve-se, muito provavelmente, ao facto das plantas de salgueiro terem enraizado antes das de choupo e de terem permanecido mais tempo no viveiro. A razão entre a biomassa abaixo e acima do solo é mais elevada no choupo.

Quadro 4. Principais características das plantas utilizadas na experiência.

Espécie	Altura média (cm)	Peso seco médio		Número de raízes principais	Modelo de distribuição de raízes (%)				
		Total (g)	Raiz/lançamento		1	1 – 2	1 – 3	1 – 2 – 3	1 – 2 – 3 – 4
<i>P. alba</i>	20,4 ± 1,1	1,9 ± 0,2	1,2 ± 0,2	8,6 ± 0,6	6	6	0	38	50
<i>S. atrocinerea</i>	62,8 ± 1,6	4,6 ± 0,5	1,0 ± 0,1	> 10	0	0	0	0	100

3.2. Sobrevivência e crescimento

A taxa de sobrevivência das espécies instaladas encontra-se representada na Figura 11. Como já tinha sido referido anteriormente, a mortalidade das parcelas de sequeiro durante o Verão foi quase total no choupo-branco (uma árvore sobreviveu) e total na borrazeira-preta.

A sobrevivência das parcelas irrigadas foi elevada no caso do salgueiro (92,5%), tendo havido o maior decréscimo de plantas entre Junho e Julho de 2012. Na bibliografia encontram-se referenciados alguns valores de taxas de sobrevivência na ordem de 92,2% para clones de *S. viminalis* x *S. purpurea* e de *S. viminalis* (Stolarski et al., 2008) e de 85,7% para *S. salviafolia* spp *australis* (Santos, 2009).

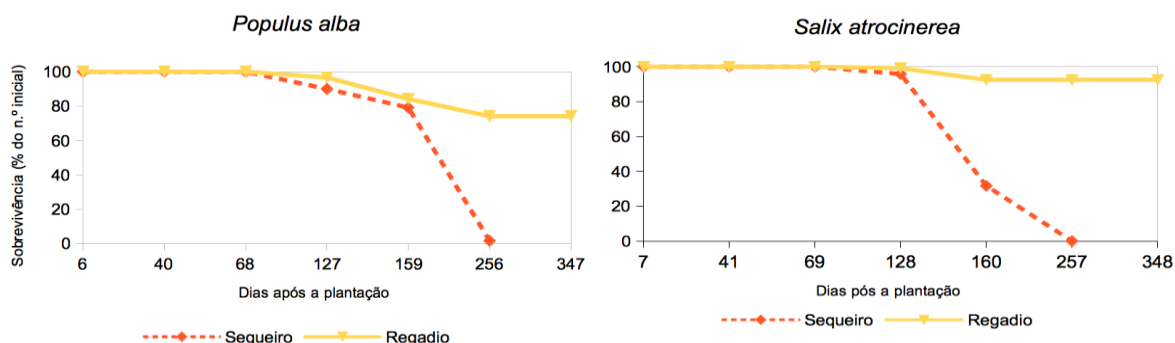


Figura 11. Sobrevivência das plantas (em % do número inicial de 120 exemplares de cada espécie em cada parcela) ao longo do período de medições (ca. 11 meses).

No caso do choupo, a sobrevivência não foi tão elevada (74,2%), tendo-se registado maior mortalidade entre Junho e Outubro de 2012. Broeckx *et al.* (2012) e Laureysens *et al.* (2003) obtiveram taxas de sobrevivência para clones representantes de algumas espécies e híbridos de choupo de 81,8% – *P. deltoides*, *P. maximowiczii*, *P. nigra* e *P. trichocarpa* – e 78,5% – *P. deltoides*, *P. balsamifera*, *P. nigra* e *P. trichocarpa* –, respectivamente, sendo a sobrevivência obtida neste estudo comparativamente baixa.

Entre Fevereiro e Abril de 2012, o crescimento em altura do salgueiro não foi muito significativo (2,5 cm), o que seria de esperar, uma vez que coincide com o final do período vegetativo. No caso do choupo houve uma diminuição de 0,3 cm na altura média, no mesmo período, que se deveu à morte/danos no eixo principal de algumas plantas, o que influenciou as medições. O crescimento total em altura foi, em média, de 19,4 cm para o *S. atrocinerea*, o que representou um crescimento de 1,8 cm por mês (comparativamente baixo em relação ao crescimento mensal de 5,2 cm obtido por Santos (2009) para a mesma espécie), e de 7,7 cm para o *P. alba*, representando um crescimento de 0,70 cm por mês (também abaixo do esperado). No final das medições (cerca de 11 meses após o início das mesmas) a altura média das plantas era de 76,8 cm e 34,2 cm, respectivamente para o salgueiro e para o choupo. As Figuras 12 e 13 representam a evolução da altura média das duas espécies.

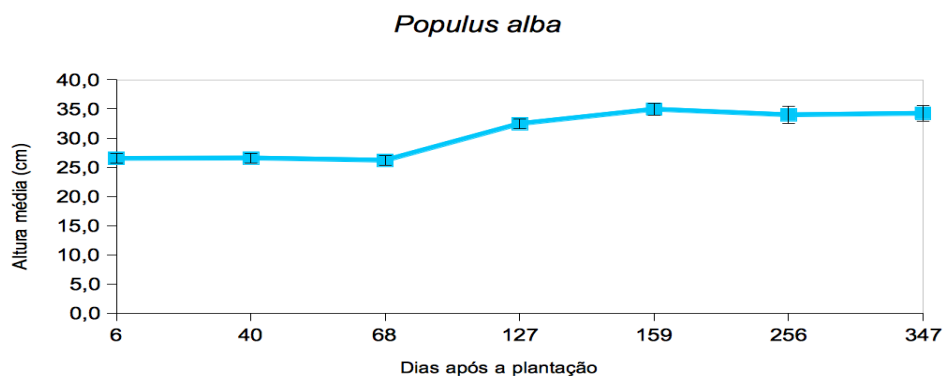


Figura 12. Altura média (em cm) da parcela irrigada de *P. alba* ao longo do período de medições (as barras verticais representam o erro padrão).

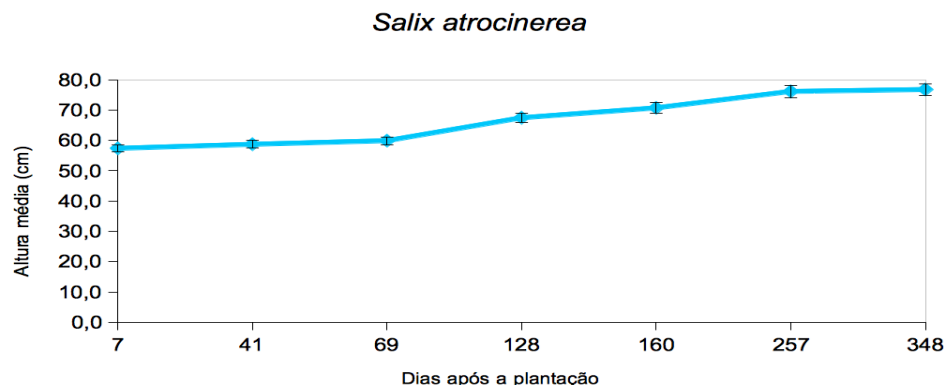


Figura 13. Altura média (em cm) da parcela irrigada de *S. atrocinerea* ao longo do período de medições (as barras verticais representam o erro padrão).

3.3. Produção de biomassa

3.3.1. Salicáceas com 5 anos

No Quadro 5. apresenta-se a produção de biomassa, determinada a partir do peso seco, separada por componentes para cada espécie.

Na altura do abate os dois clones de choupo, Unal e Beaupré, não tinham folhas, daí não estar contemplada esta componente da biomassa aérea. No caso dos salgueiros, a biomassa de tronco e ramos encontra-se compilada numa só devido às diferenças físicas pouco significativas entre os mesmos.

De modo geral, verifica-se uma produção superior nos dois clones de choupo em comparação com os salgueiros, o que seria de esperar, uma vez que os primeiros foram especificamente seleccionados pela sua produtividade e os últimos são espécies silvestres, sem melhoramento genético no sentido da produção.

Quadro 5. Biomassa por componentes de cada espécie.

Espécie	Com rega estival											
	Média por indivíduo (kg)				Média por hectare (t ha ⁻¹)				Média por hectare e por ano (t ha ⁻¹ a ⁻¹)			
	Tronco	Ramos	Folhas	Total	Tronco	Ramos	Folhas	Total	Tronco	Ramos	Folhas	Total
<i>Populus</i> 'Unal'	5,717	1,465	-	7,182	60,219	15,231	-	75,617	10,04	2,54	-	15,12
<i>Populus</i> 'Beaupré'	6,769	2,059	-	8,828	71,208	21,999	-	91,937	11,87	3,67	-	18,39
<i>Salix salvifolia</i>		1,011	0,274	1,281		7,946	2,153	10,067		1,32	0,36	2,01
<i>Salix atrocinerea</i>		1,829	0,634	2,526		13,064	4,378	17,442		2,18	0,73	3,49

Como já foi referido, do total das árvores presentes nas parcelas de cada espécie, apenas foi determinada a biomassa através do peso seco das componentes para uma amostra. Para as restantes plantas, tornou-se necessário calcular os valores de biomassa de cada componente através de regressões entre a biomassa e as variáveis medidas (altura e/ou diâmetro), pois as medições feitas aquando do abate não foram rigorosas o suficiente para a amostra medida ser representativa da parcela.

3.3.1.1. *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* – Unal e Beaupré

Foram amostrados 19 exemplares do clone Unal. Através dos dados obtidos, foram estabelecidas as melhores relações entre a biomassa dos diferentes componentes (kg peso seco) e o DAP (cm). Os melhores resultados foram através de regressões potenciais, todas com um coeficiente de determinação elevado (sempre superior a 0,95). No caso do clone Beaupré, foram amostradas 22 árvores, sendo que as regressões estabelecidas entre a biomassa dos componentes (kg peso seco) e o DAP (cm) foram potenciais, excepto para a biomassa dos ramos, que foi exponencial. Tal como no clone Unal, o coeficiente de

determinação foi sempre elevado. As Figuras 14. e 15. representam graficamente as regressões estabelecidas, respectivamente para cada espécie.

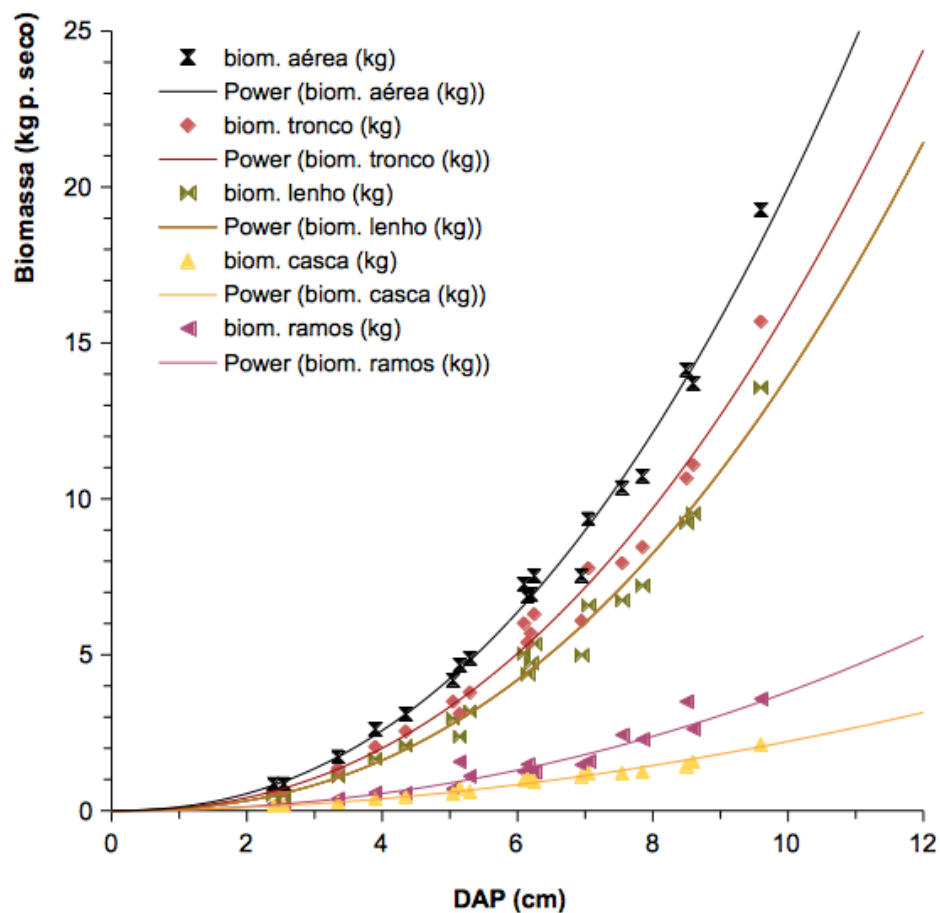


Figura 14. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa de cada componente do clone Unal: Biomassa aérea = $0,115 \cdot \text{DAP}^{2,240}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa tronco = $0,085 \cdot \text{DAP}^{2,276}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa lenho = $0,062 \cdot \text{DAP}^{2,354}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa casca = $0,027 \cdot \text{DAP}^{1,919}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa ramos = $0,030 \cdot \text{DAP}^{2,108}$ ($R^2_{aj} = 0,95$).

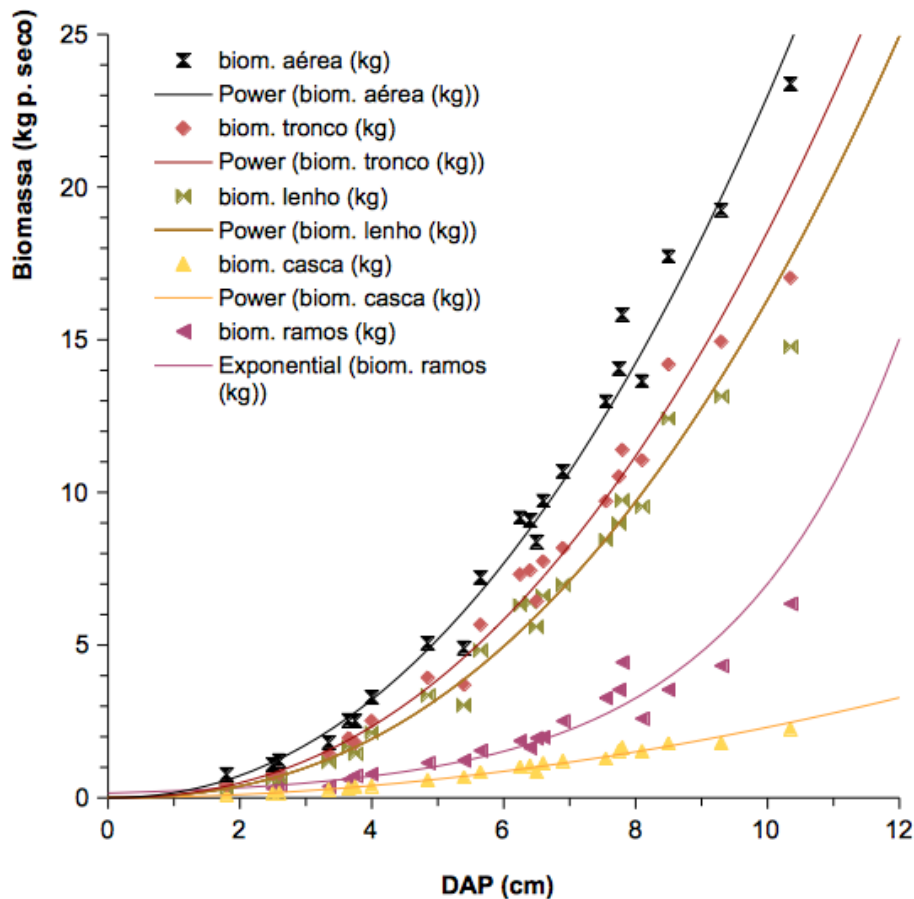


Figura 15. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa de cada componente do clone Beaupré: Biomassa aérea = $0,164 \cdot \text{DAP}^{2,147}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa tronco = $0,101 \cdot \text{DAP}^{2,263}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa lenho = $0,076 \cdot \text{DAP}^{2,331}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Biomassa casca = $0,028 \cdot \text{DAP}^{1,921}$ ($R^2_{aj} = 0,99$); Ln (Biomassa ramos) = $-1,873 + (\text{DAP} \cdot 0,382)$ ($R^2_{aj} = 0,95$).

A produção média de biomassa total do clone Unal foi de $75,6 \text{ t ha}^{-1}$, o que corresponde a uma produção média anual de $15,12 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, e do clone Beaupré foi de $91,5 \text{ t ha}^{-1}$, correspondendo uma produção média anual de $18,39 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. De acordo com os valores encontrados na bibliografia, obtidos em estudos semelhantes, a produção dos clones de choupo costuma variar entre as $10 - 15 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, sendo que a maioria dos resultados são inferiores (Ceulemans *et al.*, 1996; Walle *et al.*, 2007). Laureysens *et al.*, em 2003, estudou 17 clones de choupo na Bélgica, incluindo os dois abordados neste trabalho, e obteve uma produção de $6-7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Unal) e $5-6 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Beaupré). Em 2005 obteve produções de $1,6-9,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ para outros clones de choupo. Sixto *et al.* (2011) refere resultados para o clone Unal de $3,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Dowell *et al.* obteve uma produção de $14 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Ceulemans *et*

al. (1996) e Walle *et al* (2007) referem um caso excepcional de elevada produtividade – 27,5 t ha⁻¹ a⁻¹ - de um novo clone de choupo híbrido gerido em condições óptimas. Comparando os resultados obtidos neste estudo com os referenciados na bibliografia, podemos afirmar que se encontram dentro do esperado, sendo, entre os outros estudos, das produções de biomassa obtidas mais elevadas. Estes resultados não são surpreendentes, uma vez que foi feita irrigação durante a época estival, o que elimina o factor limitante da água, e o solo tinha boas condições para o crescimento, e vieram confirmar a nossa hipótese de que estes clones teriam um bom desempenho.

A proporção da biomassa nas diferentes componentes está graficamente representada nas Figuras 16. e 17. Em ambos os casos, a maior alocação de biomassa encontra-se no tronco da árvore (lenho e casca), o que faz sentido, tendo em conta que, em média, as árvores tinham cerca de 9 m altura e 6,1 cm de DAP e nenhuma folhas.

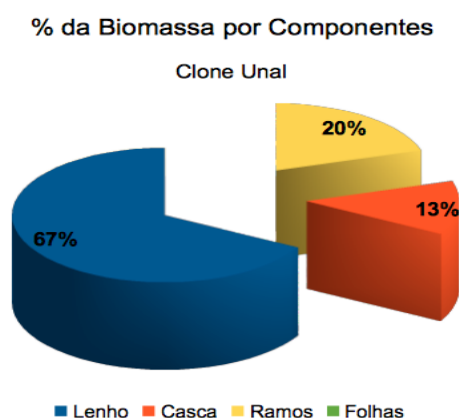


Figura 16. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do clone Unal.

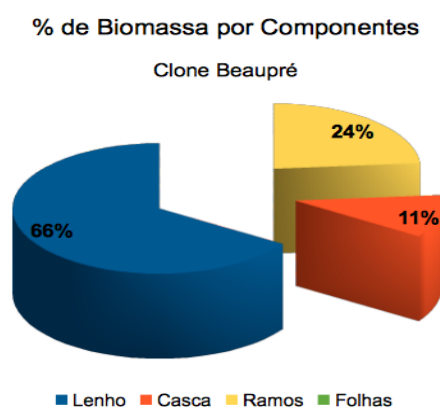


Figura 17. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do clone Beaupré.

3.3.1.2. *Salix atrocinerea* e *Salix salviafolia*

De *S. atrocinerea* foram amostradas 20 árvores, através das quais se extraíram os dados para tentar estabelecer as melhores relações entre a biomassa dos diferentes componentes (kg peso seco) e o diâmetro na base da copa (cm). Estas foram através de regressões logarítmicas. No caso desta espécie os resultados não foram muito satisfatórios, pois os coeficientes de determinação foram muito baixos (aproximadamente 0,42 para a biomassa aérea e de tronco e ramos, e 0,25 para a biomassa de folhas e lançamentos), o que terá afectado negativamente os resultados deste estudo, no caso desta espécie.

No caso do *S. salviafolia* foram amostradas 15 árvores, sendo que as regressões estabelecidas são lineares. A biomassa das folhas e dos lançamentos foi estimada a partir do DAP (cm) e a aérea e do tronco e ramos a partir do DAP² (cm²). Nesta espécie os

coeficientes de determinação já foram mais elevados, sendo sempre superiores a 0,85. As Figuras 18, 19 e 20 representam graficamente as regressões estabelecidas para cada espécie.

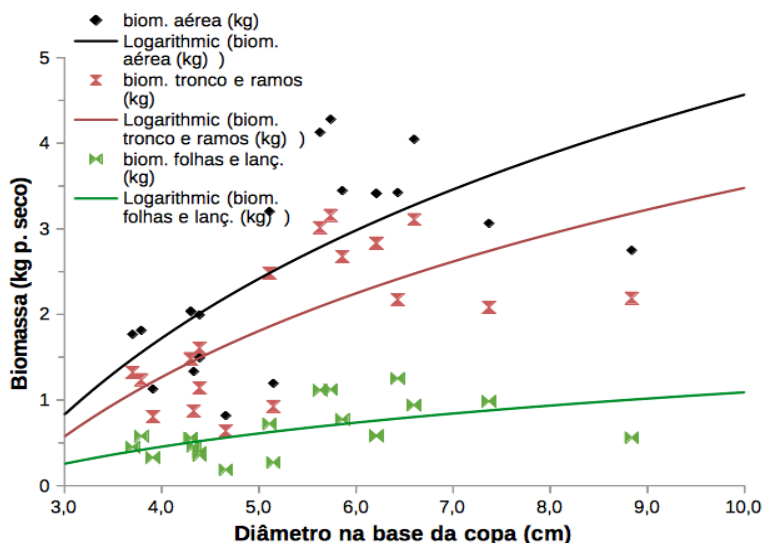


Figura 18. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa de cada componente do *Salix atrocinerea*: Biomassa aérea = $3,103 \cdot \ln(\text{Diâmetro na base da copa}) - 2,578$ ($R^2_{aj} = 0,42$; Biomassa tronco e ramos = $2,411 \cdot \ln(\text{Diâmetro na base da copa}) - 2,073$ ($R^2_{aj} = 0,42$); Biomassa folhas e lançamentos = $0,693 \cdot \ln(\text{Diâmetro na base da copa}) - 0,505$ ($R^2_{aj} = 0,25$).

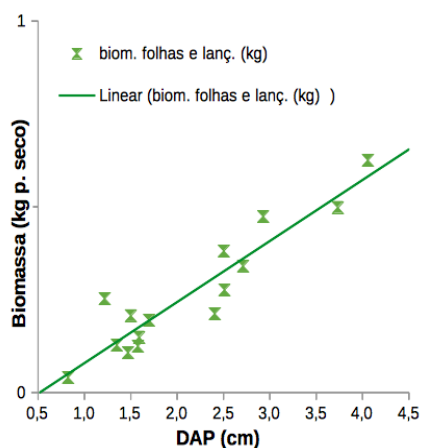


Figura 19. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa das folhas e lançamentos do *Salix salvifolia*: Biomassa folhas e lançamentos = $0,164 \cdot \text{DAP} - 0,085$ ($R^2_{aj} = 0,86$).

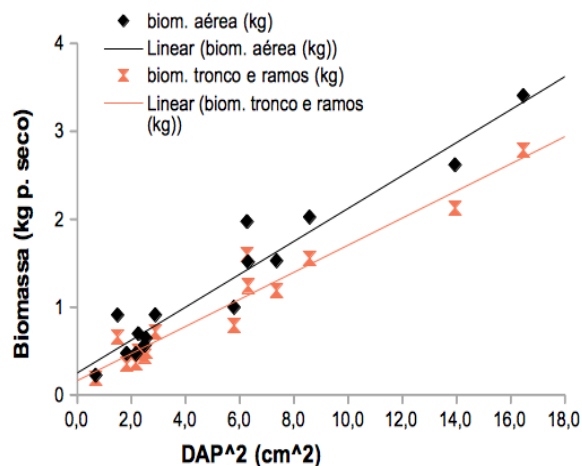


Figura 20. Representação gráfica das regressões estabelecidas para a biomassa aérea e do tronco e ramos do *Salix salvifolia*: Biomassa aérea = $0,187 \cdot \text{DAP}^2 + 0,250$ ($R^2_{aj} = 0,93$); Biomassa do tronco e ramos = $0,154 \cdot \text{DAP}^2 + 0,163$ ($R^2_{aj} = 0,93$).

A produção média de biomassa total da borrazeira-preta foi de $17,4 \text{ t ha}^{-1}$, o que corresponde a uma produção média anual de $3,49 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, e da borrazeira-branca foi de $10,1 \text{ t ha}^{-1}$, correspondendo uma produção média anual de $2,01 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Na bibliografia são referenciados alguns valores de produção de biomassa para os salgueiros muito superiores aos obtidos neste estudo: Ceulemans *et al.* (1996) e Walle *et al.*, 2007 apresentam como valores mais comuns $10\text{-}12 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, no entanto referem que já foram registadas produções na ordem das $18 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ na Irlanda, $28,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ para *S. viminalis* no Canadá e $36 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ para *S. dasyclados* na Suécia, em parcelas intensivamente irrigadas e fertilizadas. Num estudo em Itália, sob condições Mediterrânicas, os valores de biomassa variaram entre as $3,8$ e $13,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Rosso *et al.*, 2013). Volk *et al.* (2006) faz referência a alguns estudos em que se excederam as $30 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ em produções de salgueiro na Europa com fertilização e irrigação. O mesmo autor afirma ainda que os melhores resultados se obtêm quando se combina controlo da vegetação com novas variedades de clones mais produtivos, densidades de plantação adequadas à arquitectura da copa e uma gestão de nutrientes optimizada.

Comparando os resultados obtidos neste estudo com os referenciados na bibliografia, confirmamos a baixa produção das nossas espécies de salgueiro neste trabalho. Apesar da rega durante o Verão e da qualidade do solo, os maus resultados poderão ser devidos à pouca adaptação ao local, pois em 5 anos houve uma mortalidade de cerca de 31% das plantas de *S. atrocinerea* e de 21% no caso do *S. salvifolia*, ou à inadequação densidade de plantação da parcela que pode não ser óptima para estas espécies. Kauter *et al.* (2003) afirma que a escolha do local mais adequado é o pré-requisito mais importante para o sucesso de uma plantação de curta rotação para produção de biomassa e que outros factores fundamentais são o estabelecimento, escolha das espécies/ clones e duração da rotação.

A distribuição (percentagem) da biomassa pelos diferentes componentes está graficamente representada nas Figuras 21 e 22. Em ambos os casos, a maior alocação de biomassa encontra-se no tronco e ramos da árvore, à semelhança dos clones de choupo, uma vez que se tratam de exemplares com porte arbustivo e com muitas ramificações, com uma altura média de 3,6 m e diâmetro equivalente de 1,7 cm.

% de Biomassa por Componentes

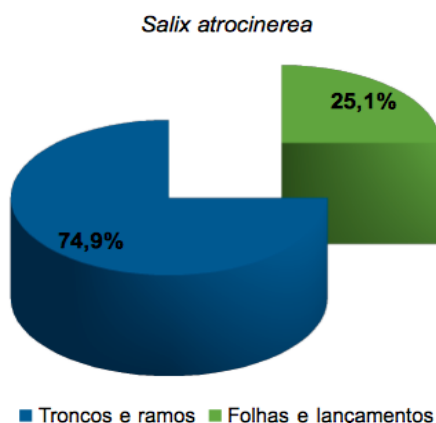


Figura 21. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *S. atrocinerea*.

% da Biomassa por Componentes

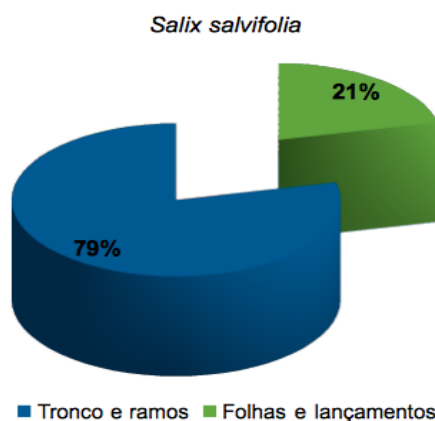


Figura 22. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *S. salvifolia*.

3.3.2. Salicáceas com 1 ano

A produção média em biomassa, representada pelo peso seco, das duas espécies de salicáceas durante o crescimento de 1 ano encontra-se registada no Quadro 6. A amostra recolhida para cada uma das espécies foi bastante representativa, não tendo sido necessário estimar os valores de biomassa através de regressões, como nos casos anteriores. A avaliação usando a proporção de plantas abatidas foi suficientemente precisa. No total, o choupo-branco teve uma produção média de 65,2 kg ha⁻¹ e a borrazeira-preta 301,5 kg ha⁻¹.

Quadro 6. Biomassa por componentes de cada espécie de salicáceas com 1 ano.

Espécie	Com rega estival											
	Média por indivíduo (g)				Média por hectare (kg ha ⁻¹)				Média por hectare (t ha ⁻¹ a ⁻¹)			
	Tronco	Ramos	Folhas	Total	Tronco	Ramos	Folhas	Total	Tronco	Ramos	Folhas	Total
<i>Populus alba</i>	1,46 ± 0,18	0,76 ± 0,11	-	2,22 ± 0,28	42,82	22,37	-	65,18	0,04	0,02	-	0,07
<i>Salix atrocinerea</i>	5,60 ± 0,47	2,15 ± 0,18	0,40 ± 0,06	8,15 ± 0,61	207,04	79,66	14,84	301,54	0,21	0,08	0,01	0,30

Comparando os resultados obtidos com os já referidos anteriormente da bibliografia, podemos afirmar que foram muito baixos. Walle *et al*, apresenta os valores de alguns estudos, sendo os resultados mais baixos sempre superiores a 2 t ha⁻¹ a⁻¹, tanto para os salgueiros como para os choupos.

Tendo em conta os resultados do *Salix atrocinerea* ao fim de 5 anos de crescimento, podemos justificar as baixas produtividades dos exemplares com 1 ano da mesma forma. A fase de estabelecimento é crucial para o sucesso das plantações de curta rotação (Broeckx

et al, 2012; Kauter *et al*, 2003; Otto *et al*, 2010; Cañellas *et al*, 2012), sendo que a falta de adaptabilidade pode justificar a baixa produtividade. Kauter *et al* (2003) refere também que o controlo de vegetação espontânea deve ser feita nos primeiros 1 ou 2 anos após a plantação e após cada ciclo de abates para garantir bom estabelecimento. O controlo da vegetação foi apenas feito regularmente, podendo também estar na origem da baixa produtividade e crescimento.

Os baixos resultados do choupo justificam-se da mesma forma que os do salgueiro, sendo que Ceulemans *et al*. (1996) afirma que os salgueiros atingem uma maior produção de biomassa mais rapidamente que os choupos e Dowell *et al* (2009) verificou que, para clones de choupo, os incrementos anuais de biomassa aumentaram ao longo dos 5 anos da experiência, o que pode sugerir que nas seguintes rotações, a produtividade de choupo aumentará.

Em suma, as produções de biomassa obtidas por estas duas espécies indica que não se adequam ao local e/ou práticas culturais da experiência e, do ponto de vista comercial, não teriam interesse para a indústria da biomassa para energia. Sendo autóctones, e pelos resultados positivos obtidos na bibliografia, seria interessante desenvolver mais estudos com outras características, nomeadamente irrigação, fertilização e controlo de vegetação optimizadas e densidades de plantação e rotações diferentes. Cañellas *et al* (2012) refere que, no caso dos choupos, não se deve ultrapassar uma densidade de 15000 plantas ha⁻¹.

A distribuição da biomassa (em %) pelas componentes destas duas espécies encontra-se representada graficamente nas Figuras 23 e 24. Tal como acontecia nas outras espécies, também nestas a maior percentagem de biomassa encontra-se nos ramos e tronco.

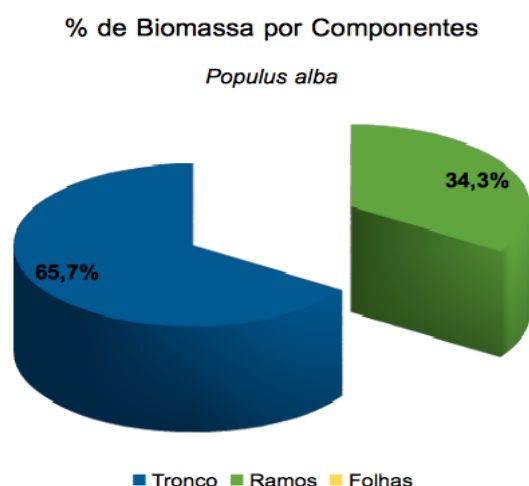


Figura 23. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *P. alba*.

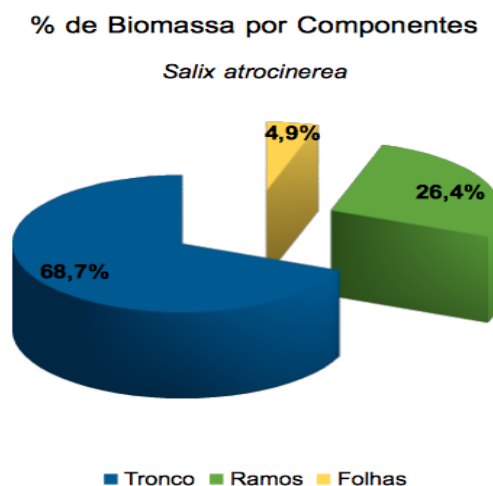


Figura 24. Representação gráfica da distribuição da biomassa pelas componentes do *S. atrocinerea* (com 1 ano).

4. CONCLUSÕES

A hipótese colocada que os dois clones de choupo, Unal e Beaupré, teriam boas produções de biomassa verificou-se, evidenciando assim o seu já esperado potencial elevado para a produção de energia. No entanto devem ser desenvolvidos mais estudos no sentido de maximizar a sua produção, explorando diversas densidades e ciclos de rotação, de modo a que possa entrar no mercado da energia de forma competitiva.

As salicáceas autóctones já não apresentaram resultados tão positivos, tendo estes ido contra a hipótese colocada no início do trabalho que poderiam ter um potencial produtivo interessante, à semelhança do que foi verificado noutros países. Verifica-se também a necessidade de explorar melhor as condições óptimas para estas espécies, pois o facto de serem autóctones e de estarem adaptadas ao nosso clima torna-as interessantes para um aproveitamento sustentável dos solos disponíveis no nosso país e adaptado à realidade nacional. A escolha de clones mais adequados às condições da Tapada da Ajuda seria também via interessante para obter melhores produções, à semelhança dos clones de choupo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F. G., Ferreira, A. M. D., Magro, T. J., Mendes, A. G. 2010. Variação de alguns elementos agroclimáticos na região de Lisboa, nos últimos 80 anos. In *Clima e recursos naturais: Conferências de homenagem ao professor doutor Dionísio Afonso Gonçalves*. Figueiredo, T., Ribeiro, L. F., Ribeiro, A. C., Fernandes, L. F. (Eds.). Instituto Politécnico de Bragança. Bragança.
- Afas, N. A., Marron, N., Dongen, S. V., Laureysens, I., Ceulemans, R. 2008. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *Forest Ecology and Management* 255: 1883-1891.
- Almargem. 2013. Biodiversidade a seus pés. Disponível em: <http://almargem.org/biodiv/> (acesso em: 29 de Janeiro de 2014).
- Almeida, V. 2013. Centro da Biomassa para Energia. Disponível em: <http://www.centrodabiomassa.pt> (acesso em: 1 de Fevereiro de 2014).
- Biorede. S/ data. Diversidade vegetal. Disponível em: <http://www.biorede.pt/index2.htm> (acesso em: 29 de Janeiro de 2014).
- Boehmel, C., Lewandowski, I., Claupein, W. 2008. Comparing annual perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural Systems* 96: 224-236.
- Broeckx, L. S., Verlinden, M. S., Ceulemans, R. 2012. Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing *Populus* trees in Flanders (Belgium) I - Effects of genotype and former land use. *Biomass and Bioenergy* 42: 151-163.
- Cañellas, I., Huelin, P., Hernández, M. J., Ciria, P., Calvo, R., Gea-Izquierdo, G., Sixto, H. 2012. The effect of density on short rotation *Populus* sp. plantations in the Mediterranean area. *Biomass and Bioenergy* 46: 645-652.
- Carneiro, M. 2013. Invasive acacias as a potential biomass-for-energy source under mediterranean conditions. Submetido a: *Int. J. of Agricultural Resources, Governance and Ecology*.
- Ceulemans, R., McDonald, A. J. S., Pereira, J. S. 1996. A comparison among eucalypt, poplar and willow characteristics with particular reference to a coppice, growth-modelling approach. *Biomass and Bioenergy* 11: 215-231.
- Christersson, L. 2006. Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: observations of characters, traits and growth potential. *Biomass and Bioenergy* 30: 497 – 508.
- Comissão Europeia. 2005. *Comunicação da comissão: Plano de acção biomassa*. Official Journal C. Bruxelas.

Comissão Europeia. 2013. *Eurostat*. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home> (acesso em: 31 de Janeiro de 2014).

Comissão Europeia. 2014. *The 2020 climate and energy package*. Disponível em: <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/> (acesso em: 31 de Janeiro de 2014)

Departamento de Comunicação da Comissão Europeia. Sem data. *Sínteses da legislação da UE*. Disponível em: http://europa.eu/legislation_summaries/index_pt.htm (acesso em: 29 de Janeiro de 2013).

Direcção Geral de Energia e Geologia. 2010. *Plano nacional de acção para as energias renováveis ao abrigo da Directiva 2009/28/CE*. REPAP 2020. Lisboa. Portugal.

Direcção Nacional das Fileiras Florestais. 2010. *Culturas energéticas florestais: primeira abordagem do levantamento da situação actual*. Direcção Nacional das Fileiras Florestais. Junho.

Dowell, R. C., Gibbins, D., Rhoads, J. L., Pallardy, S. G. 2009. Biomass production physiology and soil carbon dynamics in short-rotation-grown *Populus deltoides* and *P. deltoides* x *P. nigra* hybrids. *Forest Ecology and Management* 257: 134-142.

Fabião, A. M. D. 1996. *Árvores e florestas*. 2ª edição. Publicações Europa-América. Colecção Euroagro. Lisboa.

Fabião, A., Fabião, A. 2007. Os ecossistemas ribeirinhos, pp 91-108. In *Do castanheiro ao teixo – as outras espécies florestais*. In Silva, J. S. [Coord. Ed.] 2007. Colecção Árvores e florestas de Portugal, Volume V. Jornal Público / Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento / Liga para a Protecção da Natureza. Lisboa.

Filat, M., Chira, D., Nică, M. S., Dogaru, M. 2010. First year development of poplar clones in biomass short rotation coppiced experimental cultures. *Annals of Forest Research* 53(2): 151-160.

Flora Digital de Portugal. 2014. Jardim Botânico da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Disponível em: <http://jb.utad.pt/flora> (acesso em: 29 de Janeiro de 2014).

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. S/ data. Plano Setorial – Flora: Fichas de caracterização e gestão das espécies constantes no Anexo II da Diretiva Habitats. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/rn2000/p-set/psrn-flora> (acesso em: 29 de Janeiro de 2014).

Instituto Nacional de Estatística. 2012. *Anuário estatístico de Portugal 2011*. Lisboa. Instituto Nacional de Estatística, IP. 2012. ISBN 978-989-25-0178-9.

Instituto Português do Mar e da Atmosfera. 2014. Normais climatológicas. Disponível em: <http://www.ipma.pt> (acesso em: 13 de Fevereiro de 2014).

- Kauter, D., Lewandowski, I., Claupein, W. 2003. Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences. *Biomass and Bioenergy* 24: 411-427.
- Kerebel, C. 2013. *Energias renováveis*. Disponível em: http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/pt/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.7.4.html (acesso em: 29 de Janeiro 2014)
- Kopp, R. F., Abrahamson, L. P., White, E. H., Volk, T. A., Nowak, C. A., Fillhart, R. C. 2001. Willow biomass production during ten successive annual harvests. *Biomass and Bioenergy* 20: 1-7.
- Laureysens, I., Deraedt, W., Indeherberge, T., Ceulemans, R. 2003. Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy* 24: 81-95.
- Laureysens, I., Pellis, A., Willems, J., Ceulemans, R. 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass and Bioenergy* 29: 10-21.
- Lockwell, J., Guidi, W., Labrecque, M. 2012. Soil carbon sequestration potential of willows in short-rotation coppice established on abandoned farm lands. *Plant Soil* 360: 299-318.
- Mead, D. J. 2005. Forests for energy and the role of planted trees. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 407-421.
- Medina, J. M. B. 1973. *Os solos da Tapada da Ajuda sob utilização agrícola*. Relatório da Actividade do Aluno Estagiário do Curso de Engenheiro Agrónomo. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Moreira, R., Faria, C., Carneiro, M., Patinho, D., Gominho, J., Fabião, A. 2013. Are traditional european woody energy crops suitable for mediterranean areas? First results on comparison with an introduced species. In *Conference on Sustainable Developments of Energy, Water and Environment Systems*, 8, Dubrovnik, 2013.
- Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais. Vegetação ripícola: Comemoração do dia da floresta autóctone. *FolhaViva*. Outubro/ Dezembro 2004. Número 29. Ano VII.
- Otto, S., Loddo, D., Zanin, G. 2010. Weed-poplar competition dynamics and yield loss in Italian short-rotation forestry. *Weed Research* 50: 153-162.
- Patzek, T. W., Pimentel, D. 2005. Thermodynamics of energy production from biomass. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24(5-6): 327-364.
- Pistocchi, C., Guidi, W., Piccioni, E., Bonari, E. 2009. Water requirements of poplar and willow vegetation filters grown in lysimeter under Mediterranean conditions: results of the

second rotation. *Desalination* 246: 137-146.

Rosso, L., Facciotto, G., Bergante, S., Vietto, L., Nervo, G. 2013. Selection and testing of *Populus alba* and *Salix* spp. As bioenergy feedstock: preliminary results. *Applied Energy* 102: 87-92.

Santos, J. M. C. F. *Avaliação da biomassa de plantas bioenergéticas*. Dissertação para a obtenção de grau de mestre em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2009. 68 pp.

Senelwa, K., Sims, R. E. H. 1999. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. *Biomass and Energy* 17: 127-140.

Sixto, H., Salvia, J., Barrio, M., Ciria, M. P., Cañellas, I. 2011. Genetic variation and genotype-environment interactions in short rotation *Populus* plantations in southern Europe. *New Forests* 42: 163-177.

Spinelli, R., Nati, C., Magagnotti, N. 2008. Harvesting short-rotation poplar plantations for biomass production. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29: 129-139.

Storlarski, M., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Klasa, A. 2008. Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles. *Biomass and Bioenergy* 32: 1227-1234.

Vanhala, P., Repo, A., Liski, J. 2013. Forest bioenergy at the cost of carbon sequestration? *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5: 41-46.

Verlinden, M. S., Broeckx, L. S., Wei, H., Ceulemans, R. 2013. Soil CO₂ efflux in a bioenergy plantation with fast-growing *Populus* trees – influence of former land use, inter-row spacing and genotype. *Plant Soil* 369: 631-644.

Vilas Boas, R. S/ data. Florestar.net. Disponível em: <http://www.florestar.net> (acesso em: 29 de Janeiro de 2014)

Volk, T. A., Abrahamson, L. P., Nowak, C. A., Smart, L. B., Tharakan, P. J., White, E. H. 2006. The development of short-rotation willow in the northeastern United States for bioenergy and bioproducts, agroforestry and phytoremediation. *Biomass and Bioenergy* 30: 715-727.

Walle, I. V., Camp, N. V., Castele, L. V., Verheyen, K., Lemeur, R. 2007. *Biomass and Bioenergy* 31: 267-275.

WRB. 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2006*. World Soil Resources Reports N.º 103. FAO, Roma.

WWF. 2011. *Living forests report – chapter 2: forests and bioenergy*. WWF. Gland. Suíça.

WWF MedPo, WWF España. 2011. *A energia da floresta ibérica: caracterização do mercado e quadro legal*. WWF Mediterrâneo Portugal.